

ному хозяйству наивысшую экономическую и социальную эффективность. Решение этой задачи может быть выполнено в два этапа:

- 1) прогнозирование расходов газа потребителями;
- 2) выбор очередности ограничения потребителей.

Оперативное прогнозирование городского газопотребления, т.е. решение первого этапа осуществляется с учетом метеорологических факторов [1] и зависимость расхода газа от этих факторов принимается линейной.

Решение второго этапа должно основываться на графике обобщенной зависимости между уровнем газопотребления и продолжительностью стояния температур наружного воздуха. Этот график аппроксимируется режимами ограничения и, при необходимости, режимами возврата природного газа, изъятого у буферных потребителей. При выборе очередности ограничения буферных потребителей следует учитывать, что при переводе тепловых агрегатов на твердое или жидкое топливо резко увеличивается выброс вредных веществ в окружающую среду. Поэтому предприятия, расположенные близко к жилой территории, нужно ограничивать в последнюю очередь. К сожалению, в настоящее время отсутствуют рекомендации по ограничению буферных потребителей с целью улучшения экологической обстановки в регионах и санитарной обстановки в жилых кварталах.

1.Ляуконис А.Ю. Оптимизация городского газоснабжения. – Л.: Недра, 1989. – 302 с.

2.Торчинский Я.М. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. – Л.: Недра, 1988. – 239 с.

Получено 21.08.2000

УДК 658.2.264

**В.В.ГРАНКИНА**

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Приводятся результаты исследования причин влияния различных факторов на повреждение элементов теплоснабжения.

Теплотехническая система представляет собой широкий набор агрегатов, установок, сооружений по выработке, транспортировке, преобразованию и конечному использованию теплоты [1]. Одной из главных причин выхода из строя элементов теплотехнической системы являются солевые отложения и коррозия. Наиболее частые повреждения от солевых отложений и коррозии – это трещины-надрывы и их

скопления на внутренней и наружной поверхности обечаек и днищ барабанов котлов, трещины на поверхности экранных и кипятильных труб и др. [2, 3].

Для предупреждения накипеобразования и коррозии систем теплоснабжения необходимо соблюдать требования к качеству воды, приведенные в табл. 1 по данным [4].

Таблица 1

| Системы<br>теплоснабжения                       | Карбонатный индекс $c$ (мг-экв/л) <sup>2</sup><br>при температуре воды, °С |         |         |         |
|---|--|---------|---------|---------|
|   | 100-120  | 120-130 | 130-140 | 140-150 |
| Водогрейные котлы<br>с закрытым водозабором     | 1,8  | 1,2     | 1,0     | 0,5     |
| То же с открытым<br>водозабором                 | 2,0  | 1,5     | 1,2     | 0,8     |
| Сетевые подогреватели с<br>закрытым водозабором | 2,5  | 2,0     | 2,0     | 2,0     |
| То же с открытым<br>водозабором                 | 3,0  | 2,5     | 2,5     | 2,0     |

Из табл. 1 видно, что температура теплоносителя оказывает существенное влияние на карбонатный индекс, т.е на накипеобразование. Температура является важным параметром для теплотехнических систем. С ее повышением увеличивается скорость большинства коррозионных процессов. С возрастанием температуры на 10°С скорость кислородной и уголекислотной коррозии увеличивается на 20-30 % [5]. На рис. 1 приведены кривые, характеризующие зависимость общей коррозии железа в воде от температуры для открытой системы, когда кислород может быть удален, и для замкнутой системы, когда кислород нельзя удалить.

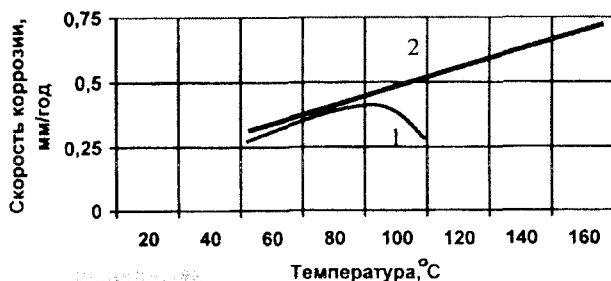


Рис. 1 — Зависимость скорости коррозии железа в воде от температуры:  
1 — в открытой системе; 2 — в закрытой системе

В закрытых системах интенсивность кислородной коррозии непрерывно возрастает по линейному закону и достигает максимума при 75-85 °С.

Температурный фактор влияет также на интенсивность отложения солей. Рассмотрим зависимость интенсивности карбонатных отложений в криволинейной трубе от температуры по данным [5], показанную на рис.2.

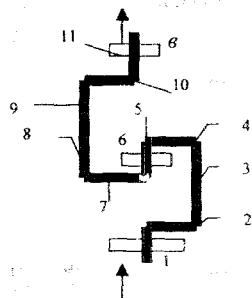
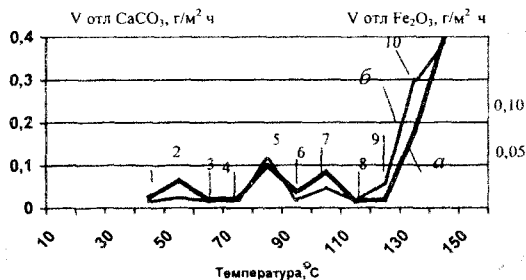


Рис.2 — Зависимость интенсивности карбонатных отложений в криволинейной трубе от температуры:

*а* — интенсивность отложения  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  по длине обогреваемой трубы; *б* — то же  $\text{CaCO}_3$ ; *а* — конфигурация криволинейной обогреваемой трубы; 1 — 11 — нумерация участков

В необогреваемом участке интенсивность процесса осаждения карбоната кальция снижается на один — два порядка, несмотря на то, что температура воды, протекающей по этому участку, равна температуре воды на выходе из обогреваемого участка.

Кроме того, требуется отсутствие в сетевой воде свободной углекислоты, а растворенного кислорода должно быть не более 20 мкг/кг. Углекислота в воде играет двоякую роль: обуславливает протекание собственно углекислотной коррозии и усиливает кислородную коррозию. Угольная кислота снижает pH воды вследствие повышения ее степени диссоциации с ростом температуры, которое происходит в соответствии с химической реакцией



В результате этого усиливается коррозионная агрессивность воды, что приводит к снижению стойкости защитной пленки. Влияние кислорода на скорость коррозии проявляется в двух противоположных направлениях. С одной стороны, кислород как деполяризатор катода увеличивает скорость коррозионного процесса, с другой, — он оказывает пассивирующее действие на поверхность стали. На рис.3 показано влияние концентрации растворенного в воде кислорода на скорость

коррозии углеродистой стали [4].

Из рис.3 видим, что в начале коррозия увеличивается пропорционально росту концентрации кислорода, а затем резко уменьшается.

На элементы теплотехнических систем оказывают неблагоприятное воздействие ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . В табл.2 приведены анионы и катионы, которые могут образовывать щелочноземельные накипи, а также названы труднорастворимые соединения, образующиеся при сочетании данной пары ионов и отлагающиеся в воде в виде накипи и шлама.

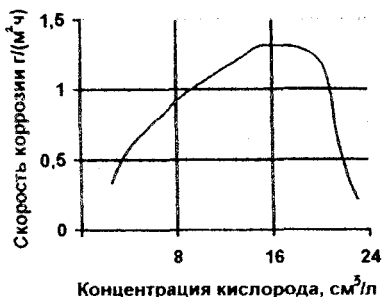


Рис.3 — Зависимость скорости коррозии железа от концентрации растворенного в воде кислорода

Таблица 2

| Катионы          | Анионы                   |                    |                    |                     |
|------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|                  | $\text{OH}^-$            | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{CO}_3^{2-}$ | $\text{SiO}_3^{2-}$ |
| $\text{Ca}^{2+}$ | —                        | $\text{CaSO}_4$    | $\text{CaCO}_3$    | $\text{CaSiO}_3$    |
| $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Mg}(\text{OH})_2$ | —                  | $\text{MgCO}_3$    | $\text{MgSiO}_3$    |

Прочерк показывает, что данная пара ионов образует легкорастворимый электролит.

Скорость образования этих накипей пропорциональна концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ионов в растворе и зависит от величины тепловой нагрузки поверхности нагрева. Растворимость  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  с повышением температуры снижается.

При наличии в воде активирующих агентов, например, хлоридов-ионов, при определенном значении потенциала пассивное состояние нарушается и процесс анодного растворения ускоряется [6]. Объясняется это тем, что по мере смещения потенциала в положительную сторону усиливается адсорбция хлоридов-ионов и вместо пассивирующего окисла образуется галогенид, обладающий хорошей растворимостью, что является предпосылкой питтинговой коррозии.

Повышение давления значительно усиливает коррозию металлов с одновременным ростом температуры. На рис.4 показано влияние повышения давления и температуры на коррозию котельной стали в растворах щелочей [4].

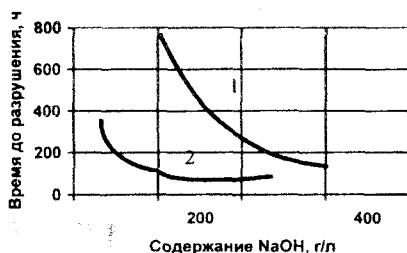


Рис. 4 – Время разрушения углеродистой стали в зависимости от концентрации щелочи, давления и температуры:  
1 – 7 Мн/м<sup>2</sup>, 170 °С; 2 – 3,5 Мн/м<sup>2</sup>, 243 °С

Основной причиной влияния давления на электрохимическую коррозию металлов является изменение растворимости газов, участвующих в электрохимических процессах, и возникновение механических напряжений в металле. Рост давления особенно сказывается на увеличении скорости коррозионных процессов, идущих с кислородной деполяризацией, из-за повышения растворимости кислорода в агрессивной среде и практически мало влияет на коррозионные процессы, происходящие с водородной деполяризацией.

На скорость коррозии и наклепобразования влияют и другие факторы: pH, скорость движения воды, структура и состояние поверхности металла, которые здесь подробно не рассматриваются.

Таким образом, нами проанализированы основные причины, влияющие на наклепобразование и коррозию систем теплоснабжения. Необходимо учитывать их в совокупности, поскольку они обуславливают многочисленные повреждения теплотехнических систем. Целесообразно разработать адекватные математические модели процессов коррозии и наклепобразования с целью создания систем автоматизированной защиты от накипи и коррозии теплотехнических объектов.

1. Ахтырский А.А. Ремонт теплоэнергетического оборудования. Справочник. – М.: Стройиздат, 1987. – 223 с.
2. Вергазов В.С. Устройство и эксплуатация котлов. Справочник. – М.: Стройиздат, 1991. – 271 с.
3. Машанов А.В., Щелоков Я.М. и др. Обработка воды в системах теплоснабжения фосфонатами // Энергетик. – 1990. – № 4. – С 14 – 15.
4. Клинов И. Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. – М.: Машиностроение, 1967. – 468 с.
5. Лапотышкина Н.П., Сазанов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. – М.: Энергоиздат, 1982. – 234 с.
6. Розенфельд И. Л. Ингибиторы коррозии. – М.: Химия, 1977. – 352 с.

Получено 21.08.2000